НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 629.563.2

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК НА СООРУЖЕНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИИ

О.А. Григорьева, канд. техн. наук, ФАУ «Российский морской регистр судоходства», Санкт-Петербург, e-mail: grigoryeva.oa@rs-class.org
М.А. Кутейников, д-р техн. наук, ФАУ «Российский морской регистр судоходства», Санкт-Петербург, e-mail: kuteynikov.ma@rs-class.org
А.С. Большев, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, e-mail: bolshev_as@spbstu.ru
С.А. Фролов, канд. техн. наук, доцент, СПбПУ, Санкт-Петербург, e-mail: frolov_as@spbstu.ru

В статье представлено описание подходов к учету нагрузок на морские сооружения в Правилах ПБУ/МСП Регистра, в том числе случайных нагрузок от ветра и волнения при детерминистическом и вероятностном подходе, особенности расчета ледовой нагрузки. Приводятся результаты расчета ледовой нагрузки на морские стационарные сооружения по правилам Регистра и сравнение их с данными других источников. Обсуждается опыт применения правил Регистра при компьютерном моделировании морских сооружений и внешних нагрузок, и направление развития Правил ПБУ/МСП Регистра в области формирования новых подходов к обоснованию проектных решений на основе математического моделирования поведения цифровых двойников морских сооружений под действием случайно изменяющихся во времени природных нагрузок на протяжении длительных интервалов времени.

Ключевые слова: *волновые и ледовые нагрузки; морские сооружения и платформы; ветро-волновые режимы; вероятностное моделирование*

APPLICATION OF NORMATIVE DOCUMENTS OF RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING IN DETERMINATION OF EXTERNAL LOADS FOR THE RUSSIAN CONTINENTAL SHELF OFFSHORE STRUCTURES

O.A. Grigoryeva, PhD, FAI "Russian Maritime Register of Shipping", St. Petersburg,
e-mail: grigoryeva.oa@rs-class.org
M.A. Kuteynikov, DSc, FAI "Russian Maritime Register of Shipping", St. Petersburg,
e-mail: kuteynikov.ma@rs-class.org
A.S. Bolshev, DSc, professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
St. Petersburg, e-mail: bolshev_as@spbstu.ru
S.A. Frolov, PhD, assistant professor, SPbPU, St. Petersburg, e-mail: frolov_as@spbstu.ru

The article presents a description of the approaches to accounting for the impact on offshore structures in the MODU/FOP Register Rules, including random phenomena from wind and waves with a deterministic and probabilistic approach, and features of the calculation of ice loads. The results of calculation of ice load on fixed offshore structures in accordance with the Register rules and comparison of the data with other sources have been presented. The experience of applying the Register rules in computer modeling of marine offshore structures and external loads, as well as the direction of development of the MODU/FOP Register Rules in the field of developing of new approaches to justifying design solutions based on mathematical modeling of the digital twins of offshore structures behavior under the influence of randomly changing natural loads over long time intervals have been discussed.

Keywords: *wave and ice loads; offshore structures and platforms; wind wave regimes; probabilistic modeling*

ВВЕДЕНИЕ

В связи с освоением шельфа морей России, Регистром в 1979 году были изданы Правила классификации и постройки плавучих буровых установок [1], а в 2001 году — Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ [2], (Правила ПБУ/МСП). Периодически Правила ПБУ/МСП обновляются в соответствии с международными требованиями и результатами научно-исследовательских работ, выполненных по заказу Регистра, и устанавливают требования, являющиеся специфичными для ПБУ и МСП, учитывают рекомендации Кодекса ИМО по конструкции и оборудованию ПБУ (2009 MODU Code) [3]. В Правилах учтены унифицированные требования, интерпретации и рекомендации Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) и соответствующие резолюции Международной морской организации (IMO).

Требования и рекомендации к определению внешних нагрузок на сооружения континентального шельфа приводятся в части II «Корпус» Правил ПБУ/МСП. Главной особенностью Правил Регистра является последовательное внедрение элементов вероятностного подхода к определению внешних нагрузок с использованием физически обоснованных расчетных соотношений. Большинство внешних сил, представляющих наибольшую угрозу для морских сооружений (например, нагрузки от ветра, волнения и ледовых образований) носит случайный характер. В этой связи для обеспечения безопасности создаваемых морских объектов необходимо учитывать случайный характер внешних воздействий, возможные сочетания случайных сил разной физической природы, а также реакцию самого сооружения на эти внешние воздействия. В решении практических инженерных задач для достижения этой цели обычно используются детерминированные подходы с элементами вероятностного анализа и численные подходы, в полной мере реализующие возможности вероятностного похода.

При детерминистическом подходе случайные величины задаются, как правило, в виде некоторых экстремальных значений, соответствующих сценариям действия природных нагрузок на сооружение, которые могут реализоваться в течение жизненного цикла эксплуатации этого сооружения. Инженерный анализ при таком подходе должен предусматривать проверку выполнения критериев безопасности функционирования сооружения при всех возможных сценариях взаимодействия его с внешней средой.

При вероятностном подходе случайные величины описываются при помощи законов теории вероятности. При этом инженерный анализ должен обеспечить описание поведения сооружения под действием переменных во времени и случайных по своему характеру внешних воздействий в течение длительного временного интервала, достаточного для оценки безопасности и надежности функционирования морского сооружения.

В существующих Правилах Регистра детерминированные подходы с использованием вероятностных оценок параметров внешних нагрузок нашли широкое применение, а методы вероятностного моделирования обозначены как перспективные подходы для инженерного анализа.

1. НАГРУЗКИ ОТ ТЕЧЕНИЯ

В Правилах ПБУ/МСП приводятся основные требования к учету нагрузок от течения и предлагается формула для построения профиля течения при отсутствии сведений о профиле течения в районе эксплуатации. Расчет нагрузки от течения выполняется, обычно, с учетом площади подводной парусности корпуса сооружения, его скоростного коэффициента сопротивления и постоянной во времени скорости движения жидкости.

2. НАГРУЗКИ ОТ ВОЛНЕНИЯ И ВЕТРА

Если динамикой платформы можно пренебречь (обычно это справедливо, когда период собственных колебаний сооружения не превышает 3 с), расчетная волновая нагрузка может быть определена при помощи детерминистической расчетной волны. Расчетная волна представляет собой регулярную двумерную волну, которая распространяется, не деформируясь [4].

В основе детерминистического подхода к расчету нагрузок от волнения, в Правилах ПБУ/МСП предлагается использоваться высоту волны с учетом повторяемости 100 лет, т.е. так называемую столетнюю волну H_{100}. Для того, чтобы определить максимальную реакцию необходимо исследовать диапазон волновых периодов. Этот подход полностью коррелируется с подходом, изложенным в отечественном СП 38.13330 [5]. Следует отметить, что нормы СП 38.13330 [5] ориентированы на морские гидротехнические сооружения, длительность эксплуатации которых не менее 20 лет. В этом случае использование параметров волны 100-летней повторяемости выглядит вполне оправданной. В Правилах Регистра предполагается, что платформы ПБУ/МСП также эксплуатируются длительное время, если платформы типа ППБУ устанавливаются в акватории, на один сезон, для расчета системы заякорения допускается использоваться нагрузки с периодом повторяемости 10 лет.

Если динамикой платформы нельзя пренебречь (обычно это справедливо, когда период собственных колебаний сооружения больше 3 с), расчетная волновая нагрузка может быть определена по теории случайных, нерегулярных волн [4].

Наиболее предпочтительным в этом случае является вероятностный анализ, основанный на использовании нерегулярного описания волнения, в основе которого лежит энергетический спектр, характеризующийся высотой волны и периодом волнения [6].

Исследование поведения морского сооружения под действием нерегулярного волнения позволяет выявить его резонансные колебания в различных степенях свободы и на разных частотах, что обеспечивает наиболее адекватную оценку его безопасности в реальных условиях эксплуатации.

Аналогичные подходы используются и при инженерном анализе ветровых воздействий на сооружения континентального шельфа. При детерминированном подходе принимается условно постоянная средняя расчетная скорость ветра с принятой повторяемостью и временем осреднения. В Правилах Регистра предлагаются также зависимости для учета изменения скорости ветра по высоте.

В ряде случаев, когда собственные частоты сооружения попадают в диапазон спектра ветра, ветровые порывы способны вызвать значительные колебания сооружения, которые влияют на оценку его безопасности. В этом случае необходимо исследовать динамику сооружения, моделируя временную диаграмму ветровой скорости с учетом случайно изменяющихся ветровых порывов. В Правилах Регистра предложен спектр Давенпорта для описания продольных пульсаций скорости ветра, который может быть использован для этой цели.

Сведения о характеристиках ветро-волновых условий отдельных морей приведены в приложении к Правилам ПБУ/МСП и в справочниках по режимам ветра и волнения на морях, которые Регистр выпускает начиная с 1962 года [7].

С середины 70-х гг. XX в. для изучения режима ветра и волнения стали привлекаться инструментальные измерения с автоматических буев и буровых установок, однако эти данные относились, в основном, к прибрежным районам. С 1975 год начались спутниковые измерения волнения, которые позволили создать в 1996 году первые атласы по режиму волнения по спутниковым данным [8], эти данные отражают пространственно-временную изменчивость режима волнения больших акваторий [7].

В настоящее время на сайте Регистра размещены справочники нового поколения (на основе спутниковых измерений волнения) по волновому климату Балтийского, Северного, Черного, Азовского, Средиземного, Японского, Карского, Берингова, Белого, Баренцева морей [7], [9], [10], [11], [12], выпущенные по результатам НИР по заказу Регистра.

В справочниках приведены данные о экстремальных скоростях ветра по 8 румбам, с различной повторяемостью, временем осреднения; длительности штормов, повторяемости разной скорости ветра по 8 румбам; данные по периодам, высотам и длинам волн с различной повторяемостью и обеспеченностью; повторяемость высот волн, движущихся с разных направлений; совместная повторяемость высот волн и средних периодов волнения.

В целом, справочная информация Регистра позволяет найти все данные для описания режимов экстремальных ветро-волновых воздействий на сооружения континентального шельфа в морях, омывающих Россию.

Правила Регистра, обеспечивающие создание и эксплуатацию сооружений континентального шельфа, формировались и длительное время развивались, опираясь на аналитические методы анализа поведения этих сооружений. К сожалению, возможности таких подходов не безграничны, и в последние десятилетия все большее значение приобретают численные подходы, с помощью которых решаются важные инженерные задачи.

В настоящее время генеральное направление в развитии инженерных методов анализа поведения создаваемых сооружений связано с созданием цифровых двойников проектируемых объектов, погружением их в виртуальную среду, имитирующую все многообразие и изменчивость природных воздействий, математическое моделирование поведения сооружения под действием природных нагрузок, и совершенствованием конструкции для безусловного обеспечения безопасности и надежности работы сооружения в течение их жизненного цикла. В рамках правилах Регистра, при обосновании проектных решений такой подход может реализовываться с помощью специализированных программных средств, получивших одобрение Российского морского регистра судоходства.

На примере использования одного из таких программных комплексов [13], можно наблюдать ряд новых инженерных подходов, возникающих при проектировании, постановке и эксплуатации сооружений континентального шельфа. В частности, в рамках аналитических соотношений, используемых в правилах Регистра и СП 38.13330.2018 [5], можно рассчитать волновые нагрузки только на сооружения с характерным размером, значительно меньшим длины волны. Для многих сооружений типа МСП или ППБУ это условие не выполняется, и для расчета с учетом дифракции, предлагаются поправочные коэффициенты. При этом в Правилах ПБУ/МСП предлагается использовать для расчета волновых нагрузок пакет программ ANCHORED STRUCTURES, одобренный Регистром, в котором реализуется численное решения задач дифракции, а также возможен расчет волновых нагрузок от волн конечной высоты.

Проблемы адекватного описания поведения подвижных сооружений на нерегулярном волнении или при постановке стационарных объектов на морское дно возникают из-за зависимости гидродинамических характеристик сооружений от частоты их колебаний и расстояния от корпуса сооружения до иных объектов (или морского дна). Эта проблема преодолевается только в рамках численных моделей, путем введения так называемых ретардационных функций, перехода от дифференциальных уравнений движения сооружения к интегро-дифференциальным уравнениям и численного их интегрирования.

Использование программных средств открывает новые возможности и для реализации вероятностных подходов. Например, с помощью упомянутого выше программного комплекса [13], можно в пакетном режиме промоделировать поведение сооружения континентального шельфа во всех условно стационарных режимах, отражающих изменчивость ветро-волновых условий в акватории функционирования сооружения, статистически обработать временные реализации всех важных параметров, характеризующих его поведение, и сформировать общие статистики по всем параметрам применительно к жизненному циклу сооружения.

Следует отметить, что формирование совокупности ветро-волновых режимов, содержащих спектры ветрового и волнового воздействия, направление действия волнения и ветра, а также вероятность каждого режима, может опираться на справочные данные Регистра. Однако, форма представления результатов [7], [9], [10], [11], [12], ориентирована преимущественно на экстремальные статистики, в дальнейшем планируется развитие методики применения справочных данных для полновероятностного моделирования.

Еще одна совершенно новая возможность использования программных средств связана с проектированием якорных систем удержания. В Правилах ПБУ/МСП указано, что проектируемая система удержания плавучего сооружения должна обеспечивать нормативные коэффициенты запаса по натяжению якорных линий. С помощью программных средств [14], [15], используя цифровой двойник сооружения и подвергая его воздействию течения, нерегулярных воздействий от ветра и волнения, действующих с различных направлений, создана процедура формирования оптимальных параметров системы удержания, обеспечивающая наибольшие запасы по натяжению якорных линий в условиях выживания и наиболее широкий диапазон допустимых внешних воздействий для обеспечения безопасной работы в эксплуатационных условиях. В рамках численного подхода удается также учесть динамику якорных линий, что ранее не удавалось при использовании аналитических расчетных соотношений.

Указанные численные подходы уже нашли широкое применение в практике обоснования проектных решений [16].

3. ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ

Правила Регистра по ледовым нагрузкам содержат расчетные соотношения, позволяющие вычислить нагрузки на сооружения вертикального профиля, конусные и многоколонные сооружения от ровных или торосистых ледяных образований. В Правилах ПБУ/МСП также приводятся рекомендации для учета локальных ледовых нагрузок.

Поскольку расчетные соотношения содержат параметры, имеющие случайный характер, в Правилах указано, что сочетания этих параметров должны иметь столетнюю повторяемость. В Правилах также отмечается допустимость полновероятностного моделирования взаимодействия ледовых образований с сооружением, но более подробные рекомендации по этому моделированию пока не представлены.

Следует отметить, что повторяемость относится именно к совокупности значения параметров, так как ряд из них коррелирован и их нельзя рассматривать как независимые. Например, наибольшую прочность льды имеют, как правило, в начале зимы, когда их толщина относительно невелика. Максимальная толщина льда встречается в начале лета, когда прочность льда резко уменьшается. В этой связи использование одновременно значений толщины и прочности льда столетней повторяемости приводит к неоправданному завышению материалоемкости и стоимости создаваемых сооружений. В практике проектирования в последнее время используются параметры льдов, привязанные к тому или иному месяцу года, чтобы учесть корреляцию этих параметров и создать набор сочетаний для определения худших расчетных случаев.

Ввиду изменчивости параметров льдов, сложности физических процессов их разрушения при взаимодействии с сооружением в мировой практике было создано много различных методик вычисления ледовых нагрузок, результаты которых нередко отличались на сотни процентов. В этой связи выбор расчетных соотношений для вычисления ледовых нагрузок, рекомендуемых Регистром, имел особое значение.

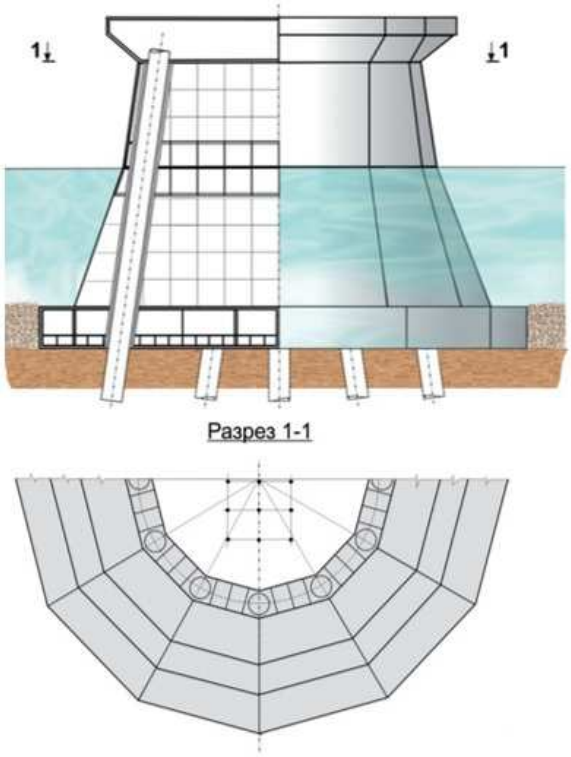
4. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ НОРМАМИ РС

Требования к ледовым нагрузкам в Правилах ПБУ/МСП созданы на основании требований к учету ледовых нагрузок в международном стандарте ISO 19906 [17], адаптированных для условий российского шельфа (введен коэффициент формы опоры в плане в направлении движения льда, поправочные коэффициенты на скорость движения льдов, размеры сооружения, и также методика позволяет задавать прочность льда, соответствующую проектным данным). В методике ISO 19906 [17] для определения ледового давления используется усредненный региональный коэффициент прочности льда, для арктических морей, субарктических и умеренных, являющийся консервативным [17].

Основным отличием методики расчета ледовых нагрузок по Правилам ПБУ/МСП является учет различных сценариев взаимодействия льда с сооружением: режим прорезания, режим остановки и режим торошения. Итоговая глобальная ледовая нагрузка выбирается после сравнения нагрузок для всех режимов.

В статье [18] приводится сравнение значений ледовой нагрузки определенной по различным нормативным документам для двух одноопорных платформ с основанием разного диаметра: платформы Моликпак и ледостойкого блока-кондуктора (ЛБК), являющегося малогабаритной платформой для бурения эксплуатационных скважин и работающего в автоматическом безлюдном режиме (см. рис. 1), для условий двух месторождений: Северо-Каменномысского газового месторождения (СКГМ), расположенного в Обской губе, являющейся самым крупным заливом Карского моря, и Киринского газового месторождения (КГМ), расположенного в Охотском море, на шельфе острова Сахалин (см. рис. 2). В статье отсутствует пример расчета по Правилам ПБУ/МСП, но есть все исходные данные для его проведения (см. табл. 1). Сравнение результатов выполненных расчетов по Правилам ПБУ/МСП и другим нормативным документам по данным статьи [18], приведено на рис. 3 — 6. С учетом того, что в статье [18], не указан режим взаимодействия льда и сооружения, использовались данные для режима прорезывания, как наиболее часто используемого в расчетах. Как видно на рис. 3 — 6, ледовая нагрузка, полученная в результате расчетов по Правилам ПБУ/МСП, достаточно хорошо совпадает с результатами расчетов по другим нормативным документам.

Платформа «Моликпак», с опорным основанием диаметром 82,3 м



Ледостойкий блок-кондуктор, диаметром 21,3 м

Рис. 1 Примеры сооружений [18]

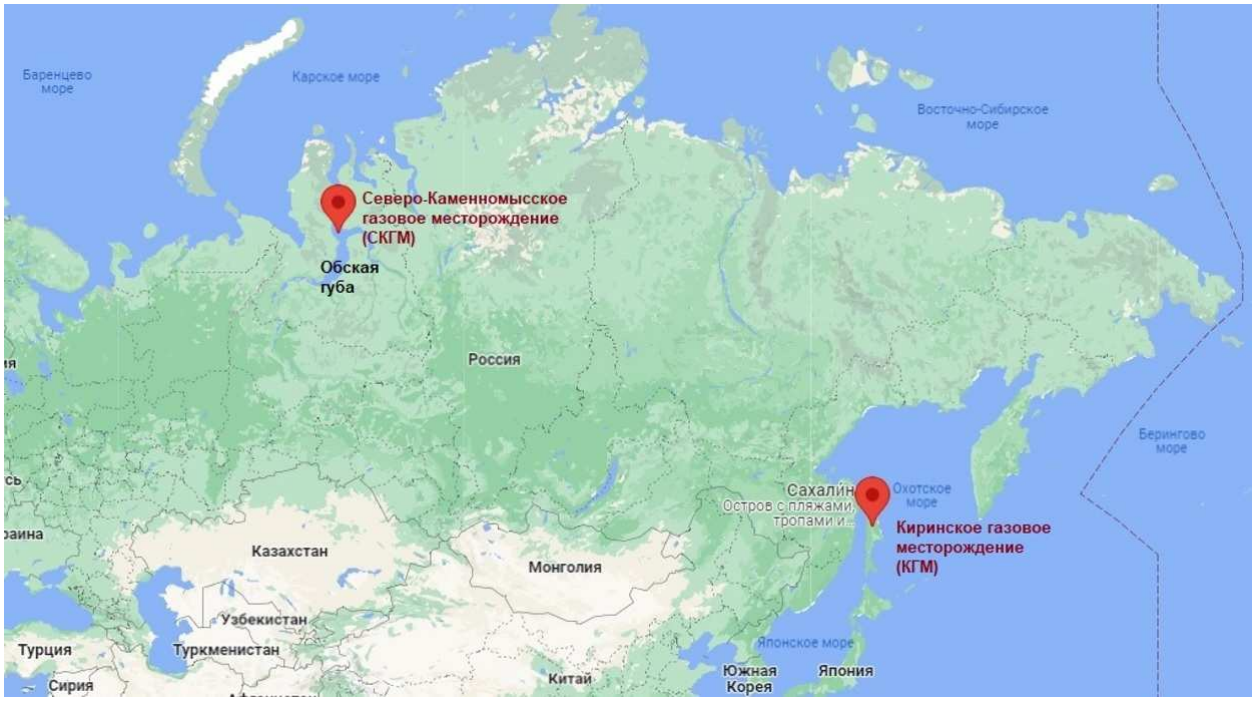


Рис. 2 Расположение месторождений СКГМ и КГМ на карте

Таблица 1

Основные расчетные параметры ледового режима [18]

Характеристика ледового покрова	Значение параметра для СКГМ	Значение параметра для КГМ
Средняя толщина ровного льда (май), м	1,4	1,8
Средняя прочность льда на одноосное, МПа	2,06	2,63
Средняя скорость дрейфа, м/с	0,4	0,5
Плотность ровного льда, кт/м^3	0,00082	0,00091
Площадь ледяного поля, км^2	2,0	2,0

Рис. 3 Нормативная ледовая нагрузка от воздействия ровного ледяного поля на платформу Моликпак, с опорным основанием диаметром 82,3 м, для условий КГМ (шельф о. Сахалин), МН

Рис. 4 Нормативная ледовая нагрузка от воздействияя ровного ледяного поля на платформу Моликпак, с опорным основанием диаметром 82,3 м, для условий СКГМ (Обская губа), МН

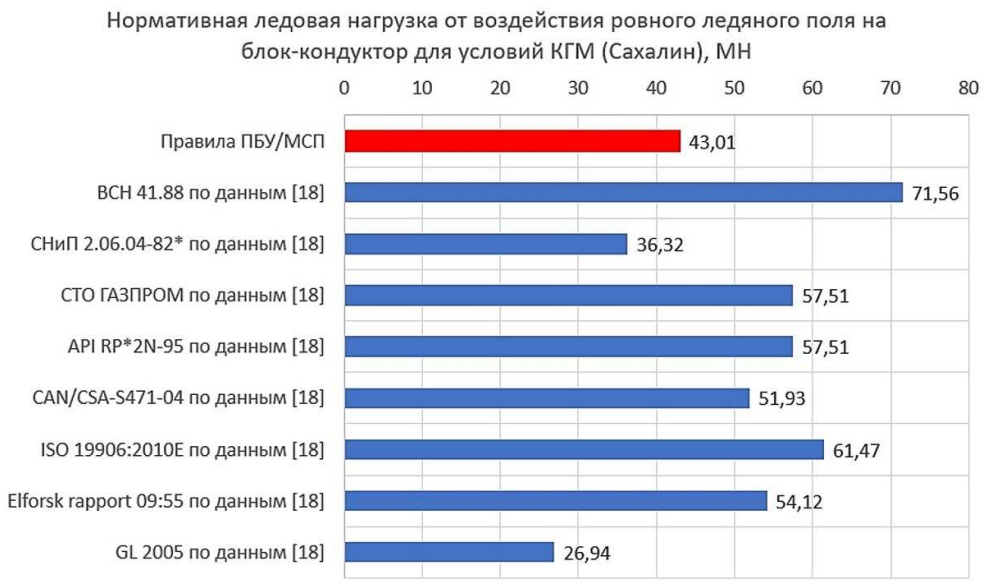


Рис. 5 Нормативная ледовая нагрузка от воздействияя ровного ледяного поля на ледостойкий блок-кондуктор, диаметром 21,3 м, для условий КГМ (шельф о. Сахалин), МН

Рис. 6 Нормативная ледовая нагрузка от воздействияя ровного ледяного поля на ледостойкий блок-кондуктор, диаметром 21,3 м, для условий СКГМ (Обская губа), МН

Расчетные соотношения, позволяющие вычислить ледовые нагрузки на сооружения континентального шельфа, как в российских, так в зарубежных нормативных документах основываются на квазистатических моделях разрушения льда. Между тем динамические аспекты взаимодействия ледовых образований нередко оказываются весьма значимыми и при проектировании стационарных ледостойких сооружений и, в особенности, при создании податливых (заякоренных) сооружений, работающих в ледовых условиях. Для инженерного анализа ледовых нагрузок в динамической постановке, как и в случае ветро-волновых воздействий, необходимо использовать численные подходы, основанные на использовании цифровых двойников сооружения и моделировании внешних воздействий.

Опыт применения программных продуктов, одобренных Регистром, показывает возможности решения инженерных задач, связанных с численным динамическим определением ледовых нагрузок на сооружения различной формы [19], [20], оценкой динамических эффектов при взаимодействии ровных и торосистых льдов с заякоренными сооружениями [21], вероятностным моделированием взаимодействия айсбергов с

судном, оснащенным поворотной турелью [22], а также определением ледовых нагрузок в полновероятностной постановке [23], [24].

Следует отметить, что реализация полновероятностных подходов при определении ледовых нагрузок, как правило, затруднена в связи с отсутствием систематизированных исходных данных по параметрам и статистическим характеристикам ледовых образований, с которыми сооружение может взаимодействовать, будучи установленным в той или иной точке мирового океана.

5. УСТОЙЧИВОСТЬ НА ГРУНТЕ

Для морских стационарных платформ актуальным является вопрос устойчивости сооружения на грунте. В Правилах ПБУ/МСП приведены, главным образом, принципиальные положения, связанные с данным вопросом, которые необходимо учитывать в расчетах. Более детальная проработка может быть проведена на основе российских нормативных документов в области проектирования гидротехнических сооружений.

ВЫВОДЫ

Требования и рекомендации к расчетным нагрузкам в Правилах ПБУ/МСП соответствуют современным подходам. Правила не ограничивают проектировщика жесткими рамками, дают основные рекомендации по проведению расчетов. Такой подход наиболее оправдан при проектировании уникальных сооружений в условиях сложных нерегулярных динамических нагрузок.

Дальнейшее развитие Правил ПБУ/МСП планируется как в области уточнения существующих рекомендаций по использованию детерминированных расчетных соотношений, так и в области формирования новых подходов к обоснованию проектных решений на основе математического моделирования поведения цифровых двойников морских сооружений под действием случайно изменяющихся во времени природных нагрузок на протяжении длительных временных интервалов, соответствующих реальным ситуациям, тем или иным этапам эксплуатации сооружения или продолжительности жизненного цикла сооружения.

Планируется развитие методики применения справочных данных для полновероятностного моделирования совокупности ветро-волновых режимов (при совместном действия ветра и волнения в заданном направлении), содержащих спектры ветрового и волнового воздействия, направление действия волнения и ветра, а также вероятность каждого режима.

Также планируется внедрение в Правила ПБУ/МСП процедуры оптимального автоматического подбора параметров системы удержания, обеспечивающей наибольшие запасы по натяжению якорных линий в условиях выживания и наиболее широкий диапазон допустимых внешних воздействий для обеспечения безопасной работы в эксплуатационных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки плавучих буровых установок. Л.: Регистр СССР, 1979.
2. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ (ПБУ/МСП). СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2001.
3. Кодекс ИМО по конструкции и оборудованию ПБУ (2009 MODU Code), принятый Ассамблеей ИМО 2 декабря 2009 года (резолюция ИМО А.1023(26), с поправками, внесенными резолюцией ИМО MSC.359 (92)), 2009.
4. Анализ СТУ для имеющихся проектов ледостойких платформ.: научно-технический отчет, этап 1 «Сопоставительный анализ результатов проектирования ледостойких платформ по западным нормативным документам и новым Правилам РМРС». СПб.: 2003.
5. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), СНиП 2.06.04—82*, М. Стандартинформ, 2019.
6. Анализ Правил Регистра для ПБУ в свете современных требований. Уточнение концепции новой версии Правил Регистра для ПБУ. Разработка необходимых дополнений к тексту Правил: технический отчет о НИР, СПб, 2005.
7. Справочные данные по режиму ветра и волнения шельфа Баренцева и Карского морей/ред. Л.И. Лопатухин, А.В. Бухановский, Е.С. Чернышева — СПб: Российский морской регистр судоходства, 2013. 334 с.
8. World Wave Atlas / Oceanor. Norway. 1996. URL: http://oblea.oceanor.no

9. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей./ред. Л.И. Лопатухин, А.В. Бухановский, А.Б. Дегтярев, В.А. Рожков — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. — 213 с.
10. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей./ред. Л.И. Лопатухин, А.В. Бухановский, С.В. Иванов, Е.С. Чернышева – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2006. — 450 с.
11. Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей.//ред. Л.И. Лопатухин, А.В. Бухановский, Е.С. Чернышева — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2009, 356 с.
12. Справочные данные по режиму ветра и волнения Берингова и Белого морей./ред. Л.И. Лопатухин, А.В. Бухановский, Чернышева Е.С. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2010, 565 с.
13. Большев А.С., Кутейников М.А., Фролов С.А. Математическое моделирование морских плавучих объектов в программном комплексе "Anchored Structures"//Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, № 36, 2013, с. 68 — 90.
14. Большев А.С., Фролов С.А., Шонина Е.В. Оптимизация систем удержания морских плавучих заякоренных сооружений//Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, №№ 62/63, 2021.
15. A. Bolshev, S. Frolov, E. Shonina Mooring system optimization for marine floating hydrotechnical structures//Magazine of Civil Engineering, 2022. 111(3). Article No. 11112.
16. Большев А.С., Фролов С.А. Математическое моделирование поведения морских объектов под действием природных нагрузок в среде ПК "Anchored Structures"//Судостроение, № 2, 2021, с. 36 — 41.
17. ISO 19906:2019. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures.
18. Ким С.Д., Финагенов О.М., Уварова Т.Э. Определение ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа по нормам различных стран//Научно-технический сборник «ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ», № 3 (14), 2013.
19. Большев А.С., Фролов С.А. Математическое моделирование взаимодействия поля ровного льда с морским гидротехническим сооружением наклонного профиля // Гидротехническое строительство, № 4, 2019, с. 39 — 47.
20. Андрюшин А.В., Большев А.С., Кутейников М.А., Фролов С.А. Численное моделирование поведения плавучих шельфовых сооружений под действием ровного льда // Труды 3 международной научной конференции «Полярная механика», 2016, с. 795 — 806.
21. Шхинек К.Н., Балагура С.В., Большев А.С., Фролов С.А. Математическое моделирование взаимодействия ровного льда и торосов с заякоренными плавучими сооружениями типа FPU и платформами типа SPAR//Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, № 32, 2009, с. 93 — 108.
22. Шхинек К.Н., Гасников О.А., Большев А.С., Ставров К.Г. Результаты моделирования сценариев взаимодействия айсбергов с морскими нефтегазодобывающими комплексами // Навигация и картография, СПб.: изд. Гос. научно-исследовательского навигационно-гидрографического института, № 39, 2015, с. 25 — 32.
23. Шхинек К.Н., Большев А.С., Фролов С.А., Уварова Е.В. Вероятностное моделирование ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа для анализа их надежности и долговечности//Сборник трудов конференции "Освоение арктического шельфа России", 1999, т. 2, с. 247 — 254.
24. Шхинек К.Н., Благовидов Л.Б., Благовидова И.Л., Большев А.С., Жемойдо Ю.Г., Фролов С.А. Расчетное определение нагрузок на ЛСП-1 для обустройства месторождения им. Ю. Корчагина//Сборник трудов конференции "Освоение арктического шельфа России", 2005, с. 315 — 320.

REFERENCES

1. Rules for the Classification, Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units. — L.: USSR Register, 1979. (In Russian)
2. Rules for the Classification, Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units and Fixed Offshore Platforms (MODU/FOP) — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2001. (In Russian)
3. A. 1023 (26) Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units, 2009 (2009 MODU Code), as amended by IMO resolution MSC.359 (92)
4. *Analyz STU dlya imeyuschikhsya proektov ledostoikikh platform: nauchno-tekhnichesky otchet, etap 1 "Sopostavitelny analiz rezultatov proektirovaniya ledostoikikh platform po zapadnym dokumentam i novym pravilam RMRS"* [Analysis of STU for existing designs of ice-resistant platforms: scientific and technical report, stage 1 "Comparative analysis of the results of designing ice-resistant platforms according to Western regulatory documents and the new RS rules"] — SPb.: 2003.
5. SP 38.13330.2018 *Nagruzki i vozdeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye I ot sudov)* [Building Code 38.13330.2018 Loads and impacts on hydraulic structures (from wave, ice and ships)], Building Codes and Regulations 2.06.04-82*, M.: Standardinform, 2019.
6. *Analyz Pravil Registra dlya PBU v svete sovremennykh trebovany. Utochnenie kontseptsii novoy versii Pravil Registra dlya PBU/ Razrabotka neobkhodimykh dopolneny k tekstu Pravil* [Analysis of the Register Rules for FOP in the light of modern requirements. Refinement of the concept of the new version of the Register Rules for PBU. Development of necessary additions to the text of the Rules]: technical report on R&D — SPb.: 2005.
7. Reference data on wind and wave regime of the Barents and Kara Sea Shelf / edited by L.I. Lopatuhin, A.V. Bukhanovskiy, E.S. Chernishova — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2013 — 334 p. (In Russian)
8. World Wave Atlas/ Oceanor. Norway. 1996. http://oblea.oceanor.no
9. Reference Data on Wind and Wave Climate of the Barents Sea, the Sea of Okhotsk and the Caspian Sea/edited by L.I. Lopatuhin, A.V. Bukhanovskiy, A.B. Degtyarev, V.A. Rozhkov — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2003. (In Russian)
10. Reference Data on Wind and Wave Regime of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean Seas/edited by L.I. Lopatuhin, A.V. Bukhanovskiy, S.V. Ivanov, E.S. Chernishova — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2006. (In Russian)
11. Reference Data on Wind and Wave Regime of the Sea of Japan and Kara Sea, edited by L.I. Lopatuhin, A.V. Bukhanovskiy, E.S. — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2009. (In Russian).
12. Reference Data on Wind and Wave Regime of the Bering and White Seas / ed. by L.I. Lopatuhin, A.V. Bukhanovskiy, E.S. Chernishova — SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2010. (In Russian)
13. Bolshev A.S., Kuteynikov M.A, Frolov S.A. *Matematicheskoe modelirovanie morskikh plavuchikh ob'ektov v programmnom komplekse "Anchored Structures"* [Mathematical modeling of marine floating objects in the software package "Anchored Structures"]//Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping, No. 36, 2013, pp. 68 — 90.

14. Bolshev A.S., Frolov S.A., Shonina E.V. *Optimizatsiya sistem uderzhaniya morskikh plavuchikh zayakorennykh sooruzheny* [Optimization of anchoring systems of offshore floating structures], Research Bulleting by Russian Maritime Register of Shipping, Nos. 62/63, 2021.
15. Bolshev A., Frolov S., Shonina E. Mooring system optimization for marine floating hydrotechnical structures//Magazine of Civil Engineering, 2022. 111(3). Article No. 11112.
16. Bolshev A.S., Frolov S.A. *Matematicheskoe modelirovanie povedeniya morskikh ob'ektov pod deystviem prirodnykh nagruzok v srede PK "Anchored Structures"* [Mathematical modeling of marine objects the behavior under the influence of natural loads in the environment of the PC "Anchored Structures"]//Sudostroenie, No. 2, 2021, pp. 36 — 41.
17. ISO 19906:2019. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures.
18. Kim S.D., Finagenov O.M., Uvarova T.E. *Opredelenie ledovykh nagruzok na sooruzheniya kontinentalnogo shelfa po normam razlichnykh stran* [Determination of ice loads on the continental shelf structures according to the standards of various countries]//Scientific-Technical Collection book "Vesti Gazovoy Nauki", No. 3 (14), 2013.
19. Bolshev A.S., Frolov S.A. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya polya rovnogo lda s morskim gidrotekhnicheskim sooruzheniem naklonnogo profilya* [Mathematical modeling of the interaction of a field of even ice with a marine hydraulic structure of an inclined profile]. Journal "Power Technology and Engineering" No. 4, 2019, pp. 39 — 47.
20. Andrushin A.V., Bolshev A.S., Kuteynikov M.A., Frolov S.A. *Chislennoe modelirovanie povedeniya plavuchikh shelfovykh sooruzheniy pod deystviem rovnogo lda* [Numerical modeling of the behavior of floating offshore structures under the action of even ice]//Proceedings of the 3rd international scientific conference "Polar Mechanics", 2016, pp. 795 — 806.
21. Shkhinek K.N., Balagura S.V., Bolshev A.S., Frolov S.A. *Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya rovnogo lda i torosov s zayakorennymi plavuchimi sooruzheniyami tipa FPU i platformami tipa SPAR* [Mathematical modeling of the interaction of even ice and hummocks with moored FPU-type floating structures and SPAR-type platforms]//Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping, No. 32, 2009, pp. 93 — 108.
22. Shkhinek K.N., Gasnikov O.A., Bolshev A.S., Stavrov K.G. *Rezultaty modelirovaniya stsenariev vzaimodeystviya aysbergov s morskimi neftegazodobyvayushchimi kompleksami* [Modeling results of interaction between icebergs and offshore oil and gas production complexes]// Navigation and Hydrography, SPb.: published by The State Research Navigation-Hydrographic Institute (GNINGI JSC), No. 39, 2015, pp. 25 — 32.
23. Shkhinek K.N., Bolshev A.S., Frolov S.A., Uvarova E.V. *Veroyatnostnoe modelirovanie ledovykh nagruzok na sooruzheniya kontinentalnogo shelfa dlya analiza ikh nadezhnosti i dolgovechnosti* [Probabilistic modeling of ice loads on continental shelf structures to analyze their reliability and durability] // Proceedings of the conference "Development of the Arctic Shelf of Russia", 1999, vol. 2, pp. 247 — 254.
24. Shkhinek K.N., Blagovidov L.B., Blagovidova I.L., Bolshev A.S., Zhemoydo Yu.G., Frolov S.A. *Raschetnoe opredelenie nagruzok na LSP-1 dlya obustroystva mestorozhdeniya im. Yu. Korchagina* [Estimated determination of loads on LSP-1 for the development of the Yu. Korchagin field] // Proceedings of the conference "Development of the Arctic Shelf of Russia", 2005, pp. 315 — 320.